

**OPTICAL FIBER**

Publication number: JP2002532745T

Publication date: 2002-10-02

Inventor:

Applicant:

Classification:






- international: **G02B6/036; G02B6/02; G02B6/02; (IPC1-7): G02B6/22**

- european: G02B6/02M

Application number: JP20000588626T 19991216

Priority number(s): JP19980359352 19981217; WO1999JP07061  
19991216; US19990441550 19991117

Also published as:

 WO0036443 (A1)  
 EP1145057 (A1)  
 EP1145057 (A0)  
 CA2354004 (A1)  
 EP1145057 (B1)

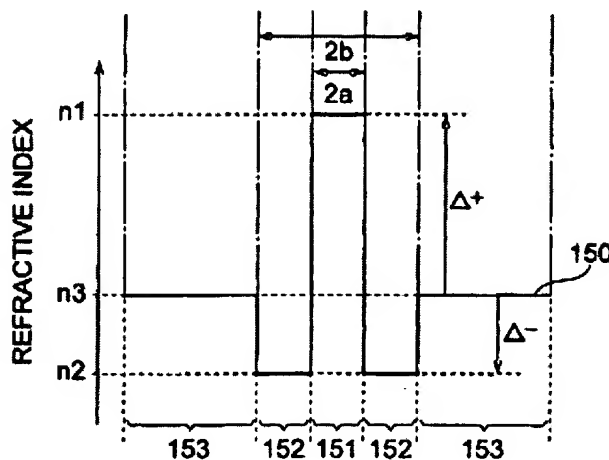
more &gt;&gt;

Report a data error here

Abstract not available for JP2002532745T

Abstract of corresponding document: **WO0036443**

The present invention relates to an optical fiber having a large positive dispersion in a wavelength band of 1.55  $\mu\text{m}$  in order to compensate for a negative dispersion inherent in an NZ-DSF in the wavelength band of 1.55  $\mu\text{m}$ . This optical fiber comprises a depressed cladding structure constituted by a core region; an inner cladding, disposed at the outer periphery of the core region, having a lower refractive index; and an outer cladding having a higher refractive index. In this optical fiber, the relative refractive index difference of the core region with respect to the outer cladding is at least 0.30 % but not greater than 0.50 %, and the relative refractive index difference of the inner cladding with respect to the outer cladding is at least -0.50 % but not greater than -0.02 %. Also, the optical fiber has a dispersion greater than 18ps/nm/km at a wavelength of 1.55  $\mu\text{m}$ , and an effective cross-sectional area  $A_{\text{eff}}$  of at least 70  $\mu\text{m}^2$  at the wavelength of 1.55  $\mu\text{m}$ .

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2002-532745

(P2002-532745A)

(43) 公表日 平成14年10月2日 (2002.10.2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/22

識別記号

F I

G 0 2 B 6/22

テ-マ-コ-ト\* (参考)

2 H 0 5 0

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2000-588626(P2000-588626)  
 (86) (22) 出願日 平成11年12月16日 (1999.12.16)  
 (85) 翻訳文提出日 平成13年6月13日 (2001.6.13)  
 (86) 国際出願番号 PCT/J P 99/07061  
 (87) 国際公開番号 WO 00/36443  
 (87) 国際公開日 平成12年6月22日 (2000.6.22)  
 (31) 優先権主張番号 09/441, 550  
 (32) 優先日 平成11年11月17日 (1999.11.17)  
 (33) 優先権主張国 米国 (U S)  
 (31) 優先権主張番号 特願平10-359352  
 (32) 優先日 平成10年12月17日 (1998.12.17)  
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 住友電気工業株式会社  
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号  
 (72) 発明者 加藤 考利  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内  
 (72) 発明者 岡本 和弘  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内  
 (72) 発明者 羽田 光臣  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内  
 (74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

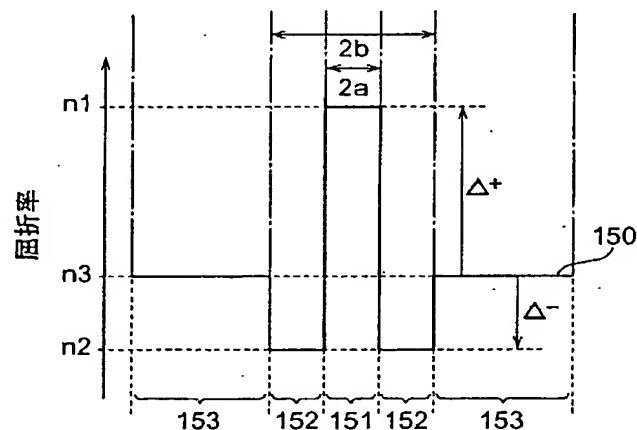
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 この発明は、1.55  $\mu\text{m}$  波長帯において N Z-DSF が有する負の分散を補償すべく、該 1.55  $\mu\text{m}$  波長帯において大きな正の分散を有する光ファイバに関する。

【解決手段】 当該光ファイバは、コア領域と該コア領域の外周に設けられ、低い屈折率を有する内側クラッドと、高い屈折率を有する外側クラッドによりディプレストクラッド構造を備える。当該光ファイバにおいて、外層クラッド領域に対するコア領域の比屈折率差は 0.30% 以上 0.50% 以下であり、外層クラッド領域に対する内層クラッド領域の比屈折率差は -0.50% 以上かつ -0.02% 以下である。また、また、当該光ファイバは、波長 1.55  $\mu\text{m}$  において 18 ps/nm/km よりも大きい分散と、波長 1.55  $\mu\text{m}$  において 70  $\mu\text{m}^2$  以上の実効断面積を有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の軸に沿って伸びたコアと、

前記コアの外周に設けられた領域であって、該コアよりも低い屈折率を有する内側クラッドと、

前記内側クラッドの外周に設けられた領域であって、前記コアよりも低くかつ該内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドとを備え、

前記外側クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.30%以上かつ0.50%以下であり、前記外側クラッド領域に対する前記内側クラッドの比屈折率差が-0.50%以上かつ-0.02%以下であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $18\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ よりも大きく、そして、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が $70\mu\text{m}^2$ 以上である光ファイバ。

【請求項2】 前記コアの外径を $2a$ （単位： $\mu\text{m}$ ）とし、前記内側クラッドの外径を $2b$ （単位： $\mu\text{m}$ ）とするとき、

$$2.0 \leq 2b / 2a \leq 6.0$$

$$8.3 \leq 2a \leq 13.0$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】 波長 $1.55\mu\text{m}$ において $20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ よりも大きい分散を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項4】 前記コアの外径を $2a$ （単位： $\mu\text{m}$ ）とし、前記内側クラッドの外径を $2b$ （単位： $\mu\text{m}$ ）とするとき、

$$2.0 \leq 2b / 2a \leq 6.0$$

$$9.1 \leq 2a \leq 13.0$$

なる関係を満たすことを特徴とする請求項3記載の光ファイバ。

【請求項5】 波長 $1.55\mu\text{m}$ において直径 $60\text{mm}$ でコイル状に巻いたときに $0.215\text{dB}/\text{km}$ 以下となる伝送損失と、波長 $1.55\mu\text{m}$ において $0.25\text{ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$ 以下の偏波モード分散を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項6】  $90\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積を有する請求項1記載の光ファイバ。

【請求項7】 2 mのファイバ長において、1.4  $\mu\text{m}$ 以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項8】 波長1.55  $\mu\text{m}$ において0.180 dB/km以下の伝送損失を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項9】 前記外側クラッドの外周に設けられたカーボンコーティングをさらに備えたことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項10】 所定軸に沿って伸び、かつ9.5  $\mu\text{m}$ 以上かつ13.0  $\mu\text{m}$ 以下の外径を有するコア領域と、

前記コアの外周に設けられた領域であって、該コア領域よりも低い屈折率を有するクラッド領域を備え、

0.3%以上かつ0.5%以下である、前記クラッド領域に対する前記コア領域の比屈折率差と、波長1.55  $\mu\text{m}$ において20 ps/nm/kmよりも大きい分散と、波長1.55  $\mu\text{m}$ において70  $\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積とを有する光ファイバ。

【請求項11】 波長1.55  $\mu\text{m}$ において直径60 mmでコイル状に巻いたときに0.215 dB/km以下となる伝送損失と、波長1.55  $\mu\text{m}$ において0.25 ps $\cdot$ km $^{-1/2}$ 以下の偏波モード分散を有することを特徴とする請求項10記載の光ファイバ。

【請求項12】 90  $\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積を有する請求項10記載の光ファイバ。

【請求項13】 2 mのファイバ長において、1.4  $\mu\text{m}$ 以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項11記載の光ファイバ。

【請求項14】 波長1.55  $\mu\text{m}$ において0.180 dB/km以下の伝送損失を有することを特徴とする請求項11記載の光ファイバ。

【請求項15】 前記外側クラッドの外周に設けられたカーボンコーティングをさらに備えたことを特徴とする請求項11記載の光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

この発明は、主に  $1.55\mu\text{m}$  波長帯で WDM 通信を行う光伝送システムにおいて、該光伝送システムにおける光伝送路の一部に又は該光伝送路上に設置されるモジュールに適用可能な光ファイバに関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

WDM (Wavelength Division Multiplexing) 通信は、 $1.55\mu\text{m}$  波長帯 ( $1.53\mu\text{m} \sim 1.57\mu\text{m}$ ) の複数の信号光を伝送することにより、大容量かつ高速の光通信を行うことを可能にする。このような WDM 通信を行う光伝送システムでは、広い波長帯域で信号光を伝送することができるよう  $1.55\mu\text{m}$  波長帯における分散が小さいことが好ましく、零分散波長が  $1.55\mu\text{m}$  波長帯にシフトしている分散シフト光ファイバ (DSF: Dispersion Shifted Fiber) が光伝送路に利用されてきた。

## 【0003】

ところが、 $1.55\mu\text{m}$  波長帯における分散が略零であると、非線形光学現象の1種である四光波混合が生じて、受信時の信号光が劣化し易くなる（例えば、H. Taga, et al., OFC'98, PD13を参照）。そこで従来は、零分散波長をさらに長波長側にずらすことで波長  $1.55\mu\text{m}$  における分散が  $-2\text{ps/nm/km}$  程度に設定（信号波長帯域に零分散波長が存在しない）された分散シフト光ファイバ (NZ-DSF: Non-zero Dispersion Shifted Fiber) を光伝送路に適用することにより、これにより四光波混合の抑制が図られている。なお、 $1.55\mu\text{m}$  波長帯において上記 NZ-DSF は負の分散を有することから、この負の分散を補償すべく  $1.55\mu\text{m}$  波長帯において正の分散を有する分散補償用の光ファイバが、この NZ-DSF とともに光伝送路に適用されることもある（例えば、M. Suzuki, et al., OFC'98, PD17参照）。

## 【0004】

上記分散補償用の光ファイバとしては、例えば ITU-T の G652 規格や G

G 6 5 4 規格で規定された光ファイバが知られている。G 6 5 2 規格の光ファイバは、G e 元素添加シリカのコア領域と、純シリカのクラッド領域から構成された標準的な光ファイバである。このG 6 5 2 規格の光ファイバは、 $1.3\ \mu\text{m}$ 波長帯に零分散波長を有するとともに、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯で $17\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度の分散を有する。一方、G 6 5 4 規格の光ファイバは、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯において $20\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の分散を有する。さらに、純シリカのコア領域と、F 元素添加シリカのクラッド領域で構成され、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯において $18\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度の分散を有する光ファイバも、分散補償用の光ファイバとして用いられる。

#### 【0005】

このようにN Z - D S F と分散補償用の光ファイバとで構成された従来の光伝送路は、全体として、正の分散スロープを有することから、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯内の一波長では分散が零となるが、他の波長領域では分散は零にはならない。そこで、該他の波長領域における残留分散を補償するために、基地局等において、該他の波長領域における各信号光を分波し、G 6 5 2 規格またはG 6 5 4 規格の分散補償用の光ファイバを用いた信号光ごとの分散補償が行われている。なお、分散スロープとは、分散の波長依存性を示すグラフの傾きで与えられる。

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

発明者は上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、上記G 6 5 4 規格の分散補償用の光ファイバは、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯における分散の上限値が $20\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ を越えることから、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯においてN Z - D S F が有する負の分散を補償するために長尺にする必要があった。また、コア領域とクラッド領域とからなる単純なステップ型の屈折率プロファイルを有する光ファイバでは、カットオフ波長の上限値に応じて分散の上限値が決定されることから、 $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯における分散を大きくすることが難しかった。

#### 【0007】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、 $1.55\ \mu$

m波長帯において大きな正の分散を有するとともに、1.55  $\mu$ m波長帯においてNZ-DSFが有する負の分散を補償する光ファイバを提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る光ファイバは、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備える。クラッド領域は、コア領域の外周に設けられた領域であって、該コア領域よりも低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた領域であって、該コア領域よりも低くかつ内側クラッドよりも高い屈折率を有する外側クラッドからなるディプレストクラッド構造を有する。また、当該光ファイバにおいて、外側クラッドに対するコア領域の比屈折率差は0.30%以上かつ0.50%以下であり、外側クラッド領域に対する内側クラッドの比屈折率差は-0.50%以上かつ-0.02%以下である。また、波長1.55  $\mu$ mにおいて、当該光ファイバは、18 ps/nm/kmよりも大きい分散と、70  $\mu$ m<sup>2</sup>以上の実効断面積 $A_{eff}$ を有する。

【0009】

なお、上記実効断面積 $A_{eff}$ は、特開平8-248251号公報(EP 0724 171 A2)に示されたように、以下の(1)式で与えられる。

【0010】

【数1】

$$A_{eff} = 2\pi \left( \int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left( \int_0^{\infty} E^4 r dr \right) \dots (1)$$

【0011】

ここで、Eは伝搬光に伴う電界、rはコア中心からの径方向の距離である。

【0012】

このように、当該光ファイバは、1.55  $\mu$ m波長帯における分散が大きいので、1.55  $\mu$ m波長帯においてNZ-DSFが有する負の分散を補償する際に

短尺で済み、当該光ファイバを所定径に巻いてモジュール化する際、該モジュールの小型化が可能となり好ましい。また、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積が大きいので、非線形光学現象の発生を効果的に抑制できる。また、この発明に係る光ファイバは、上記特性に加えて、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  において  $20\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  以上の分散を有することが好ましい。当該光ファイバは、 $1.55\ \mu\text{m}$  波長帯における分散がさらに大きいので、 $1.55\ \mu\text{m}$  波長帯において NZ-DSF が有する負の分散を補償する際にさらなる短尺化が可能となり、当該光ファイバが適用される分散補償モジュールの小型化がより容易になる。特に、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における諸特性を実現するため、上述のような構成を備えた光ファイバは、いずれも、コア領域の外径が  $2a$  (単位:  $\mu\text{m}$ )、内側クラッドの外径が  $2b$  (単位:  $\mu\text{m}$ ) のとき、

$$2. \quad 0 \leq 2b/2a \leq 6.0$$

$$8. \quad 3 \leq 2a \leq 13.0$$

なる関係が満たすのが好ましい。

#### 【0013】

この発明に係る光ファイバは、所定軸に沿って伸び、かつ  $9.5\ \mu\text{m}$  以上  $13.0\ \mu\text{m}$  以下の外径を有するコア領域と、該コア領域よりも低い屈折率を有するクラッド領域とを備えた構造であってもよい。なお、このような構成において、クラッド領域に対するコア領域の比屈折率差は  $0.3\%$  以上かつ  $0.5\%$  以下である。また、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における分散は  $20\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$  以上であり、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $70\ \mu\text{m}^2$  以上である。この光ファイバも、 $1.55\ \mu\text{m}$  波長帯における分散が大きいので、 $1.55\ \mu\text{m}$  波長帯において NZ-DSF が有する負の分散を補償する際に短尺で済む。また、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積が大きいので、非線形光学現象の発生を効果的に抑制する。

#### 【0014】

なお、上述された種々の構成を備えた光ファイバの何れにおいても、直径  $60\ \text{mm}$  でコイル状に巻かれたときの伝送損失は、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  において  $0.215\ \text{dB}/\text{km}$  以下であり、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における偏波モード分散は  $0.2$



$5 \text{ ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$ 以下であるのが好ましい。この場合、この発明に係る光ファイバは、コイル状に巻いてモジュール化された構成においても十分な特性が得られる。

#### 【0015】

さらに好ましい光学特性として、この発明に係る光ファイバは、 $90 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積  $A_{\text{eff}}$  を有する。また、当該光ファイバは、2 m のファイバ長において、 $1.4 \mu\text{m}$  以上のカットオフ波長を有する。さらに、当該光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  において  $0.180 \text{ dB/km}$  以下の伝送損失を有する。

#### 【0016】

なお、発明者らは、この発明に係る光ファイバ表面にカーボンコーティングを設けることが、当該光ファイバの破断防止に効果的であることを実験により確認した。

#### 【0017】

##### 【発明の実施の形態】

以下、この発明に係る光ファイバの各実施例を図1(a)、図1(b)、図2～図5、図6(a)、図6(b)、図7、図8(a)、図8(b)及び図9を用いて説明する。なお、図中の同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

#### 【0018】

##### (第1実施例)

図1(a)は、第1実施例に係る光ファイバの断面構造を示す図であり、図1(b)は、図1(a)に示された光ファイバの屈折率プロファイルである。第1実施例に係る光ファイバ100は、所定軸に沿って伸び、屈折率  $n_1$  を有する外径  $2a$  ( $\mu\text{m}$ ) のコア領域110と、該コア領域110の外周に設けられたクラッド領域とを備える。このクラッド領域は、さらに、ディプレストクラッド構造を実現するため、コア領域110の外周に設けられた領域であって、屈折率  $n_2$  ( $< n_1$ ) を有する外径  $2b$  の内側クラッド120と、該内側クラッド120の外周に設けられた領域であって、屈折率  $n_3$  ( $< n_1$ 、 $> n_2$ ) を有する外側クラッド130とを有する。したがって、各領域110、120、130における屈

折率の大小関係は、 $n_1 > n_2 > n_3$ である。なお、この第1実施例に係る光ファイバ100の外周には、コイル状に巻かれることによりモジュール化された際の破断を効果的に防止するため、カーボンコーティング140が設けられている。

#### 【0019】

図1(b)に示された屈折率プロファイル150の横軸は、図1(a)中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図1(b)の屈折率プロファイル150において、領域151はコア領域110の線L上の各部位における屈折率、領域152は内側クラッド120の線L上の各部位における屈折率、領域153は外側クラッド領域130の線L上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。

#### 【0020】

このような屈折率プロファイル150を有する光ファイバは、シリカをベースとしたシングルモード光ファイバであって、例えば、コア領域110にGe元素が添加され、内側クラッド120にF元素が添加されることにより実現可能である。また、図1(a)及び図1(b)において、2aはコア領域110の外径、2bは内側クラッド120の外径を表す。 $\Delta^+$ は外側クラッド130に対するコア領域110の比屈折率差、 $\Delta^-$ は外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差を表す。なお、外側クラッド130に対するコア領域110の比屈折率差 $\Delta^+$ 、及び外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 $\Delta^-$ は、それぞれ以下のように定義される。

#### 【0021】

$$\Delta^+ = (n_1 - n_3) / n_3$$

$$\Delta^- = (n_2 - n_3) / n_3$$

ここで、 $n_1$ はコア領域110の屈折率、 $n_2$ は内側クラッド120の屈折率、 $n_3$ は外側クラッド130の屈折率である。また、この明細書では、比屈折率差 $\Delta$ は百分率で表示されており、各定義式における各領域の屈折率は順不同である。したがって、 $\Delta$ が負の値の場合、対応する領域の屈折率は外側クラッド130の屈折率よりも低いことを意味する。

#### 【0022】

そして、この第1実施例に係る光ファイバ100において、外側クラッド130に対するコア領域110の比屈折率差 $\Delta'$ は0.30%以上かつ0.50%以下であり、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 $\Delta''$ は-0.50%以上かつ-0.02%以下である。また、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散は $18\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ よりも大きく、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{\text{eff}}$ は $70\mu\text{m}^2$ 以上である。

#### 【0023】

図2～図5は、それぞれ第1実施例に係る光ファイバ100のコア領域110の外径 $2a$ と波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散との関係を示すグラフである。なお、図2のグラフにおいて、コア領域110の外径 $2a$ に対する内側クラッド120の外径 $2b$ の比( $2b/2a$ )は4.0、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 $\Delta''$ は-0.03%にそれぞれ固定されている。また、図3のグラフにおいて、コア領域110の外径 $2a$ に対する内側クラッド120の外径 $2b$ の比( $2b/2a$ )は4.0、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 $\Delta''$ は-0.09%にそれぞれ固定されている。図4のグラフにおいて、コア領域110の外径 $2a$ に対する内側クラッド120の外径 $2b$ の比( $2b/2a$ )は4.0、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 $\Delta''$ は-0.20%にそれぞれ固定されている。さらに、図5のグラフにおいて、コア領域110の外径 $2a$ に対する内側クラッド120の外径 $2b$ の比( $2b/2a$ )は4.0、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 $\Delta''$ は-0.45%にそれぞれ固定されている。

#### 【0024】

図2～図5のおのおのにおいて、G100、G200、G300は、外側クラッド130に対するコア領域110の比屈折率差 $\Delta'$ が0.30%、0.40%、0.50%の各場合におけるコア径 $2a$ と波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散値の関係を示すグラフである。また、C1は、直径60mmで巻かれたことに起因する全長20kmの光ファイバの損失増加分(波長 $1.55\mu\text{m}$ )が0.01dB/kmとなるコア径 $2a$ と波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散値の関係を示すグラフである。さらに、これら図2～図5には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が $1.5\mu\text{m}$ 、1

6  $\mu\text{m}$ となる各場合のコア径  $2a$  と波長 1.55  $\mu\text{m}$  における分散値の関係を  
示す各グラフ、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が 70  $\mu\text{m}^2$ 、80  $\mu\text{m}^2$ 、90  $\mu\text{m}^2$  となる各場  
合のコア径  $2a$  と波長 1.55  $\mu\text{m}$  における分散値の関係を示す各グラフが示さ  
れている。なお、カットオフ波長  $\lambda_c$  は、長さが数百 m の光ファイバの場合には  
1.60  $\mu\text{m}$  程度まで許容され、さらに長い光ファイバの場合には 1.70  $\mu\text{m}$   
程度まで許容される場合がある。また、図 2～図 5 のおのおのには、カットオフ  
波長  $\lambda_c$  が 1.6  $\mu\text{m}$  以下、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が 70  $\mu\text{m}^2$  以上、かつ直径 60 m  
m で巻かれたことに起因する全長 20 km の光ファイバの損失増加分（波長 1.  
55  $\mu\text{m}$ ）が 0.01 dB/km 以下となる範囲が好ましい範囲として示されて  
いる（各図中に示された斜線部分）。

#### 【 0 0 2 5 】

図 2 から判断して、外側クラッド 130 に対する内側クラッド 120 の比屈折  
率差  $\Delta n$  が -0.03 % である光ファイバの場合、コア領域 110 の外径  $2a$  が  
約 8.3  $\mu\text{m}$  以上であれば、波長 1.55  $\mu\text{m}$  における分散は約 18 ps/nm  
/km 以上となり得る。コア領域 110 の外径  $2a$  が約 9.2  $\mu\text{m}$  以上であれば  
、波長 1.55  $\mu\text{m}$  における分散は約 20 ps/nm/km 以上となり得る。ま  
た、コア領域 110 の外径  $2a$  が約 12.5  $\mu\text{m}$  であれば、波長 1.55  $\mu\text{m}$  に  
おける分散は約 21.3 ps/nm/km 程度まで大きくすることができる。

#### 【 0 0 2 6 】

図 3 から判断して、外側クラッド 130 に対する内側クラッド 120 の比屈折  
率差  $\Delta n$  が -0.09 % である光ファイバの場合、コア領域 110 の外径  $2a$  が  
約 8.3  $\mu\text{m}$  以上であれば、波長 1.55  $\mu\text{m}$  における分散は約 18 ps/nm  
/km 以上となり得る。コア領域 110 の外径  $2a$  が約 9.1  $\mu\text{m}$  以上であれば  
、波長 1.55  $\mu\text{m}$  における分散は約 20 ps/nm/km 以上となり得る。ま  
た、コア領域 110 の外径  $2a$  が約 12.5  $\mu\text{m}$  のときに、波長 1.55  $\mu\text{m}$  に  
おける分散は約 21.7 ps/nm/km 程度まで大きくすることができる。

#### 【 0 0 2 7 】

また、図 4 から判断すると、外側クラッド 130 に対する内側クラッド 120  
の比屈折率差  $\Delta n$  が -0.20 % である光ファイバの場合、コア領域 110 の外

径  $2a$  が約  $9.5 \mu\text{m}$  以上であれば、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散は約  $20.8 \text{ ps/nm/km}$  以上となり得る。また、コア領域 110 の外径  $2a$  が約  $12.8 \mu\text{m}$  であれば、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散は約  $22.3 \text{ ps/nm/km}$  程度まで大きくすることができる。

#### 【 0 0 2 8 】

さらに、図 5 から判断して、外側クラッド 130 に対する内層クラッド 120 の比屈折率差  $\Delta'$  が  $-0.45\%$  である光ファイバの場合、コア領域 110 の外径  $2a$  が約  $10.5 \mu\text{m}$  以上であれば、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散は約  $23.2 \text{ ps/nm/km}$  以上となり得る。また、コア領域 110 の外径  $2a$  が約  $13.0 \mu\text{m}$  であれば、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散は約  $23.5 \text{ ps/nm/km}$  程度まで大きくすることができる。

#### 【 0 0 2 9 】

以上の図 2 ～図 5 から分かるように、外側クラッド 130 に対する内側クラッド 120 の比屈折率差  $\Delta'$  を小さく（絶対値を大きく）することにより、カットオフ波長  $\lambda_c$  を同一値に維持したまま、分散を大きくすることができる。

#### 【 0 0 3 0 】

次に、第 1 実施例に係る光ファイバの複数の適用例について説明する。

#### 【 0 0 3 1 】

まず、第 1 適用例に係る光ファイバ 100 は、図 1 (a) に示された断面構造及び図 1 (b) に示された屈折率プロファイルを備え、コア領域 110 の外径  $2a$ 、内側クラッド 120 の外径  $2b$ 、外側クラッド 130 に対するコア領域 110 の比屈折率差  $\Delta'$ 、外側クラッド 130 に対する内側クラッド 120 の比屈折率差  $\Delta''$  がそれぞれ以下のように設定されている。

#### 【 0 0 3 2 】

$2a$ ( $\mu\text{m}$ )	:	9.0
$2b$ ( $\mu\text{m}$ )	:	36.0
$\Delta'$ (%)	:	0.35
$\Delta''$ (%)	:	-0.03

以上のように設計された第 1 適用例に係る光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の

諸特性として、以下のような光学特性を有する。

【 0 0 3 3 】

分散 ( $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ )	:	18.7
実効断面積 $A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	:	80.5
分散スロープ ( $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ )	:	0.058
直径 60 mm に曲げたときの伝送損失 ( $\text{dB} / \text{km}$ )	:	0.208
偏波モード分散 PMD ( $\text{ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$ )	:	0.14

なお、この第1適用例に係る光ファイバの2 m 長でのカットオフ波長は1.25  $\mu\text{m}$  である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径60 mm で曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

【 0 0 3 4 】

第2適用例に係る光ファイバも図1 (a) に示された断面構造を備えるとともに、その屈折率プロファイルも図1 (b) に示された屈折率プロファイルと同様の形状を有する。そして、この第2適用例の光ファイバは、以下のような諸元により設計されている。

【 0 0 3 5 】

2a ( $\mu\text{m}$ )	:	10.5
2b ( $\mu\text{m}$ )	:	42.0
$\Delta^+$ (%)	:	0.35
$\Delta^-$ (%)	:	-0.03

以上のように設計された第2適用例に係る光ファイバは、波長1.55  $\mu\text{m}$  の諸特性として、以下のような光学特性を有する。

【 0 0 3 6 】

分散 ( $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ )	:	20.4
実効断面積 $A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	:	93.2
分散スロープ ( $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ )	:	0.060
直径 60 mm に曲げられたときの伝送損失 ( $\text{dB} / \text{km}$ )	:	0.204
偏波モード分散 PMD ( $\text{ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$ )	:	0.12

なお、この第2適用例に係る光ファイバの2 m 長でのカットオフ波長は1.4

5  $\mu\text{m}$ である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径60 mmで曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

## 【 0 0 3 7 】

第3適用例に係る光ファイバは、以下のような諸元により設計されている。

## 【 0 0 3 8 】

2 a ( $\mu\text{m}$ )	:	1 0 . 5
2 b ( $\mu\text{m}$ )	:	4 6 . 0
$\Delta^+$ (%)	:	0 . 3 5
$\Delta^-$ (%)	:	- 0 . 0 3

以上のように設計された第3適用例に係る光ファイバは、波長1. 5 5  $\mu\text{m}$ の諸特性として、以下のような光学特性を有する。

## 【 0 0 3 9 】

分散 ( p s / n m / k m )	:	2 1 . 0
実効断面積 $A_{eff}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	:	1 0 3 . 0
分散スロープ ( p s / n m <sup>2</sup> / k m )	:	0 . 0 6 1
直径60 mmに曲げたときの伝送損失 ( d B / k m )	:	0 . 2 0 2
偏波モード分散 P M D ( p s · k m <sup>-1/2</sup> )	:	0 . 1 2

なお、この第3適用例に係る光ファイバの2 m長でのカットオフ波長は1. 5 9  $\mu\text{m}$ である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径60 mmで曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

## 【 0 0 4 0 】

さらに、第4適用例に係る光ファイバは、以下のような諸元により設計されている。

## 【 0 0 4 1 】

2 a ( $\mu\text{m}$ )	:	1 0 . 0
2 b ( $\mu\text{m}$ )	:	4 0 . 0
$\Delta^+$ (%)	:	0 . 3 1
$\Delta^-$ (%)	:	- 0 . 0 3

以上のように設計された第4適用例に係る光ファイバは、波長1. 5 5  $\mu\text{m}$ の

諸特性として、以下のような光学特性を有する。

【 0 0 4 2 】

分散 ( p s / n m / k m )	:	1 9 . 6
実効断面積 $A_{eff}$ ( $\mu m^2$ )	:	9 8 . 0
分散スロープ ( p s / n m <sup>2</sup> / k m )	:	0 . 0 6 0
直径 6 0 m m に曲げたときの伝送損失 ( d B / k m )	:	0 . 2 0 4
偏波モード分散 P M D ( p s · k m <sup>-1/2</sup> )	:	0 . 1 2

なお、この第4適用例に係る光ファイバの2 m 長でのカットオフ波長は1 . 3 1  $\mu m$  である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径 6 0 m m で曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

【 0 0 4 3 】

第5適用例に係る光ファイバは、図1 ( a ) に示された断面構造を有するとともに、図6 ( a ) に示された屈折率プロファイル1 6 0 を有する。屈折率プロファイル1 6 0 の形状からも分かるように、この第5適用例では、コア領域1 1 0 の中心部分が周辺よりもくぼんだ形状であり、また、コア領域1 1 0 の裾部分が傾いた形状（裾部分が内側クラッド1 2 0 側へ伸びた形状）である。なお、この屈折率プロファイル1 6 0 の横軸は、図1 ( a ) 中の線 L に沿ったコア領域1 1 0 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、屈折率プロファイル1 6 0 において、領域1 6 1 はコア領域1 1 0 （外径 2 a ）の線 L 上の各部位における屈折率、領域1 6 2 は内側クラッド1 2 0 （外径 2 b ）の線 L 上の各部位における屈折率、領域1 6 3 は外側クラッド1 3 0 の線 L 上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。なお、この第5適用例において、外側クラッド1 3 0 に対するコア領域1 1 0 の比屈折率差  $\Delta'$  は、該外側クラッドの屈折率  $n_3$  と該コア領域1 1 0 の平均屈折率  $n_1$  により与えられ、外側クラッド1 3 0 に対する内側クラッド1 2 0 の比屈折率差  $\Delta$  は、該外側クラッドの屈折率  $n_3$  と該内側クラッド1 2 0 の最小屈折率  $n_2$  により与えられる。

【 0 0 4 4 】

このような第5適用例に係る光ファイバは、以下の諸元に基づいて設計されている。



## 【 0 0 4 5 】

2 a ( $\mu$ m )	:	1 0 . 0
2 b ( $\mu$ m )	:	4 5 . 4
$\Delta$ ' ( % )	:	0 . 3 4
$\Delta$ ' ( % )	:	- 0 . 0 3

以上のように設計された第5適用例に係る光ファイバは、波長1 . 5 5  $\mu$  m の諸特性として、以下のような光学特性を有する。

## 【 0 0 4 6 】

分散 ( p s / n m / k m )	:	1 9 . 5
実効断面積 $A_{eff}$ ( $\mu$ m <sup>2</sup> )	:	1 0 5 . 0
分散スロープ ( p s / n m <sup>2</sup> / k m )	:	0 . 0 6 2
直径60mmに曲げたときの伝送損失 ( d B / k m )	:	0 . 1 9 8
偏波モード分散 PMD ( p s · k m <sup>-1/2</sup> )	:	0 . 1 3

なお、この第5適用例に係る光ファイバの2m長でのカットオフ波長は1 . 6 2  $\mu$  m である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径60mmで曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

## 【 0 0 4 7 】

また、第6適用例は、図1 ( a ) に示された断面構造を備えるとともに、図6 ( b ) に示されたような屈折率プロファイル170を有する。この第6適用例は、純シリカのコア領域110とF元素添加シリカの内側クラッド120及び外側クラッド130を備えている。屈折率プロファイル170の横軸は、図1 ( a ) 中の線Lに沿ったコア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、屈折率プロファイル170において、領域171はコア領域110 ( 外径2 a ) の線L上の各部位における屈折率、領域172は内側クラッド120 ( 外径2 b ) の線L上の各部位における屈折率、領域173は外側クラッド130の線L上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。

## 【 0 0 4 8 】

このような第6適用例に係る光ファイバは、以下の諸元に基づいて設計されている。

## 【 0 0 4 9 】

2 a ( $\mu$ m )	:	1 1 . 6
2 b ( $\mu$ m )	:	4 6 . 4
$\Delta$ ( % )	:	0 . 3 1
$\Delta$ ( % )	:	- 0 . 0 5

以上のように設計された第 6 適用例に係る光ファイバは、波長 1 . 5 5  $\mu$  m の諸特性として、以下のような光学特性を有する。

## 【 0 0 5 0 】

分散 ( p s / n m / k m )	:	2 0 . 5
実効断面積 $A_{eff}$ ( $\mu$ m <sup>2</sup> )	:	9 9
分散スロープ ( p s / n m <sup>2</sup> / k m )	:	0 . 0 6 0
直径 6 0 m m に曲げたときの伝送損失 ( d B / k m )	:	0 . 1 7 2
偏波モード分散 PMD ( p s · k m <sup>1/2</sup> )	:	0 . 0 8

なお、この第 5 適用例に係る光ファイバの 2 m 長でのカットオフ波長は 1 . 5 0  $\mu$  m である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径 6 0 m m で曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

## 【 0 0 5 1 】

その他、種々の条件で光ファイバを設計あるいは試作して、その諸特性を評価したところ、当該第 1 実施例に係る光ファイバにより、波長 1 . 5 5  $\mu$  m において十分大きな分散及び実効断面積  $A_{eff}$  が得られることが分かった。特に、コア領域の外径を 2 a ( 単位 :  $\mu$  m ) とし、内層クラッド領域の外径を 2 b ( 単位 :  $\mu$  m ) としたときに、 $2 . 0 \leq 2 b / 2 a \leq 6 . 0$  なる関係式を満たすのが好適であることも分かった。また、この第 1 実施例に係る光ファイバでは、直径 6 0 m m でコイル状に巻いたときの波長 1 . 5 5  $\mu$  m における伝送損失 ( 光ファイバ本来の伝送損失と曲げによる損失増加分との合計 ) が 0 . 2 1 5 d B / k m 以下となり、より好ましい適用例では、波長 1 . 5 5  $\mu$  m における光ファイバ本来の伝送損失が 0 . 1 8 0 d B / k m 以下となることも確認できた。さらに、第 1 実施例に係る光ファイバによれば、波長 1 . 5 5  $\mu$  m における偏波モード分散が 0 . 2 5 p s · k m<sup>1/2</sup> 以下となることも確認できた。

## 【 0 0 5 2 】

なお、発明者らは、上述の光ファイバ表面にカーボンコーティングを設けることが、当該光ファイバの破断防止に効果的であることを実験により確認した。

## 【 0 0 5 3 】

図7は、カーボンコーティングによる破断防止効果を説明するための実験結果を示すグラフであり、グラフG400はカーボンコーティングが施された光ファイバが破断するときの、引張り速度（mm/分）と引張り強度（GPa）との関係を示し、グラフG500はカーボンコーティングが施されていない光ファイバが破断するときの、引張り速度（mm/分）と引張り強度（GPa）との関係を示している。また、カーボンコーティングが施された光ファイバの疲労指数Nが150を越えるのに対し、カーボンコーティングが施されていない光ファイバの疲労指数Nは25程度であった。なお、光ファイバが破断するときの破断強度（GPa）は、以下のように該光ファイバを引張る引張り速度（mm/分）の $1/(N+1)$ 乗に比例することが知られており、下式中のNを特に疲労指数という。

## 【 0 0 5 4 】

$$(\text{破断強度}) = \alpha \times (\text{引張り速度})^{1/(N+1)}$$

図7からも分かるように、引張り速度が大きくなるほどカーボンコーティングの有無に起因した破断強度の差は小さくなる（見かけ上、早く引っ張った方が、同じ力を加えてもキズが成長しにくくかつ切れにくい）。しかしながら、実際に敷設された光ファイバの破断は、非常にゆっくりとした速度で引っ張られることにより引き起こされるため、低速での破断強度が大きいカーボンコーティングが施された光ファイバがより好ましい。

## 【 0 0 5 5 】

以上のように、この第1実施例に係る光ファイバは、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯において大きな正の分散を有するので、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯においてNZ-DSFが有する負の分散を補償する際に短尺で済み、当該光ファイバが適用される分散補償モジュールの小型化を可能にする。また、当該光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が大きいので、非線形光学現象の発生が効果的に抑

制される。さらに、当該光ファイバは、直径60mmでコイル状に巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における伝送損失が小さく、かつ波長 $1.55\mu\text{m}$ における偏波モード分散も小さいので、モジュール化に適している。

## 【0056】

(第2実施例)

次に、この発明に係る光ファイバの第2実施例について説明する。図8(a)は、第2実施例に係る光ファイバの断面構造を示す図であり、図8(b)は、図8(a)に示された光ファイバの屈折率プロファイルである。この第2実施例に係る光ファイバ200は、所定軸に沿って伸び、屈折率 $n_1$ を有するコア領域210と、該コア領域210の外周に設けられた領域であって、屈折率 $n_2$  ( $< n_1$ )を有する有するクラッド領域220とを備える。したがって、各領域210、220における屈折率の大小関係は、 $n_1 > n_2$ である。なお、この第1実施例に係る光ファイバ200の外周には、コイル状に巻かれることによりモジュール化された際の破断を効果的に防止するため、カーボンコーティング230が設けられている。

## 【0057】

図8(b)に示された屈折率プロファイル250の横軸は、図8(a)中の線Lに沿った、コア領域210の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図8(b)の屈折率プロファイル250において、領域251はコア領域210の線L上の各部位における屈折率、領域252はクラッド領域220の線L上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。

## 【0058】

このような屈折率プロファイル250を有する光ファイバ200は、シリカをベースとしたシングルモード光ファイバであって、例えば、コア領域210にGe元素が添加されることにより実現可能である。また、コア領域210を純シリカとし、クラッド領域220にF元素が添加されることによっても実現可能である。なお、図8(a)及び図8(b)において、2aはコア領域210の外径を示し、 $\Delta'$ はクラッド領域220に対するコア領域210の比屈折率差を示す。

## 【0059】

そして、この第2実施例に係る光ファイバ200において、クラッド領域220に対するコア領域210の比屈折率差 $\Delta'$  ( $= (n_1 - n_2) / n_2$ ) は0.3%以上0.5%以下であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散は $20 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積は $70 \mu\text{m}^2$ 以上であり、コア領域210の外径は $9.5 \mu\text{m}$ 以上 $12.0 \mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0060】

図9は、第2実施例に係る光ファイバのコア領域210の外径 $2a$ と波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散との関係を示すグラフである。なお、この図において、G100、G200、G300は、クラッド領域220に対するコア領域210の比屈折率差 $\Delta'$ が0.30%、0.40%、0.50%の各場合におけるコア径 $2a$ と波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値の関係を示すグラフである。また、C1は、直径60mmで巻かれたことに起因する全長20kmの光ファイバの損失増加分（波長 $1.55 \mu\text{m}$ ）が $0.01 \text{ dB} / \text{km}$ となるコア径 $2a$ と波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値の関係を示すグラフである。さらに、この図9には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が $1.5 \mu\text{m}$ 、 $1.6 \mu\text{m}$ となる各場合のコア径 $2a$ と波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値の関係を示す各グラフ、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $70 \mu\text{m}^2$ 、 $80 \mu\text{m}^2$ 、 $90 \mu\text{m}^2$ となる各場合のコア径 $2a$ と波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値の関係を示す各グラフが示されている。なお、カットオフ波長 $\lambda_c$ は、長さが数百mの光ファイバの場合には $1.60 \mu\text{m}$ 程度まで許容され、さらに長い光ファイバの場合には $1.70 \mu\text{m}$ 程度まで許容される場合がある。また、図9には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が $1.6 \mu\text{m}$ 以下、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $70 \mu\text{m}^2$ 以上、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が $20 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上、かつ直径60mmで巻かれたことに起因する全長20kmの光ファイバの損失増加分（波長 $1.55 \mu\text{m}$ ）が $0.01 \text{ dB} / \text{km}$ 以下となる範囲が好ましい範囲として示されている（図中の斜線部分）。

#### 【0061】

図9から判断して、コア領域210の外径 $2a$ が約 $9.5 \mu\text{m}$ 以上であれば、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散は約 $20 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上となり得る。また、コア領域210の外径 $2a$ が約 $12.0 \mu\text{m}$ であれば、波長 $1.55 \mu\text{m}$ にお

ける分散は約  $20.7 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  程度まで大きくすることができる。

#### 【0062】

この第2実施例に係る光ファイバ200は、コア領域210の外径2aが  $11.0 \mu\text{m}$  であり、クラッド領域220に対するコア領域210の比屈折率差  $\Delta'$  が  $0.35\%$  である。このとき、カットオフ波長  $\lambda_c$  は  $1.54 \mu\text{m}$ 、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における分散は  $2.0 \sim 3 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は  $1.0 \sim 0.0 \mu\text{m}^2$ 、分散スロープは  $0.060 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、直径  $60 \text{ mm}$  に曲げたときの伝送損失は  $0.210 \text{ dB} / \text{km}$  ( $0.215 \text{ dB} / \text{km}$  以下)、偏波モード分散は  $0.10 \text{ ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$  であった。

#### 【0063】

この第2実施例に係る光ファイバも、 $1.55 \mu\text{m}$  波長帯において大きな正の分散を有するので、 $1.55 \mu\text{m}$  波長帯においてNZ-DSFが有する負の分散を補償する際に短尺で済み、当該光ファイバが適用される分散補償モジュールの小型化に適している。また、当該光ファイバは、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における実効断面積  $A_{\text{eff}}$  が大きいので、非線形光学現象の発生を効果的に抑制する。さらに、当該光ファイバは、直径  $60 \text{ mm}$  に曲げたときの伝送損失（波長  $1.55 \mu\text{m}$ ）が小さくかつ、波長  $1.55 \mu\text{m}$  における偏波モード分散も小さいので、モジュール化に適している。

#### 【0064】

この発明は、上述の実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、第1実施例に係る光ファイバとして6つの具体的な適用例が示され、第2実施例に係る光ファイバとして1つの具体的な適用例が示されたが、これらに限られるものではなく、上述の適正範囲内において種々の設計が可能である。

#### 【0065】

#### 【発明の効果】

以上のようにこの発明に係る光ファイバによれば、 $1.55 \mu\text{m}$  波長帯における分散が大きいので、 $1.55 \mu\text{m}$  波長帯においてNZ-DSFが有する負の分散を補償する際に短尺で済む。これにより、この発明に係る光ファイバが適用される分散補償モジュールの小型化が容易になる。また、この発明に係る光ファイ

は、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における実効断面積が大きいので、非線形光学現象の発生を効果的に抑制する。さらに、この発明に係る光ファイバは、直径  $60\ \text{mm}$  に曲げたときの波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における伝送損失が  $0.215\ \text{dB/km}$  以下（より好ましくは、曲げに伴う損失増加分を含まない当該光ファイバ本来の伝送損失は  $0.180\ \text{dB/km}$  以下）であり、波長  $1.55\ \mu\text{m}$  における偏波モード分散が  $0.25\ \text{ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$  以下であるため、モジュール化に適している。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(a) は、この発明に係る光ファイバの第 1 実施例の断面構造を示す図であり、(b) は、(a) に示された光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 2】

第 1 実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域の外径  $2a$  に対する内側クラッドの外径  $2b$  の比  $(2b/2a)$  を  $4.0$  に固定するとともに外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差  $\Delta n$  を  $-0.03\%$  に固定した場合の、コア径（コア領域の外径） $2a$  と波長  $1550\ \text{nm}$  における分散との関係を示すグラフである。

【図 3】

第 1 実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域の外径  $2a$  に対する内側クラッドの外径  $2b$  の比  $(2b/2a)$  を  $4.0$  に固定するとともに外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差  $\Delta n$  を  $-0.09\%$  に固定した場合の、コア径（コア領域の外径） $2a$  と波長  $1550\ \text{nm}$  における分散との関係を示すグラフである。

【図 4】

第 1 実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域の外径  $2a$  に対する内側クラッドの外径  $2b$  の比  $(2b/2a)$  を  $4.0$  に固定するとともに外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差  $\Delta n$  を  $-0.20\%$  に固定した場合の、コア径（コア領域の外径） $2a$  と波長  $1550\ \text{nm}$  における分散との関係を示すグラフである。

## 【 図 5 】

第1実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域の外径 $2a$ に対する内側クラッドの外径 $2b$ の比 $(2b/2a)$ を4.0に固定するとともに外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差 $\Delta n$ を-0.45%に固定した場合の、コア径（コア領域の外径） $2a$ と波長1550nmにおける分散との関係を示すグラフである。

## 【 図 6 】

(a)は、第1実施例に係る光ファイバの適用例の屈折率プロファイルを示す図であり、(b)は、第1実施例に係る光ファイバの他の適用例の屈折率プロファイルを示す図である。

## 【 図 7 】

カーボンコーティングによる破断防止効果を説明するための実験結果を示すグラフである。

## 【 図 8 】

(a)は、この発明に係る光ファイバの第2実施例の断面構造を示す図であり、(b)は、(a)に示された光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

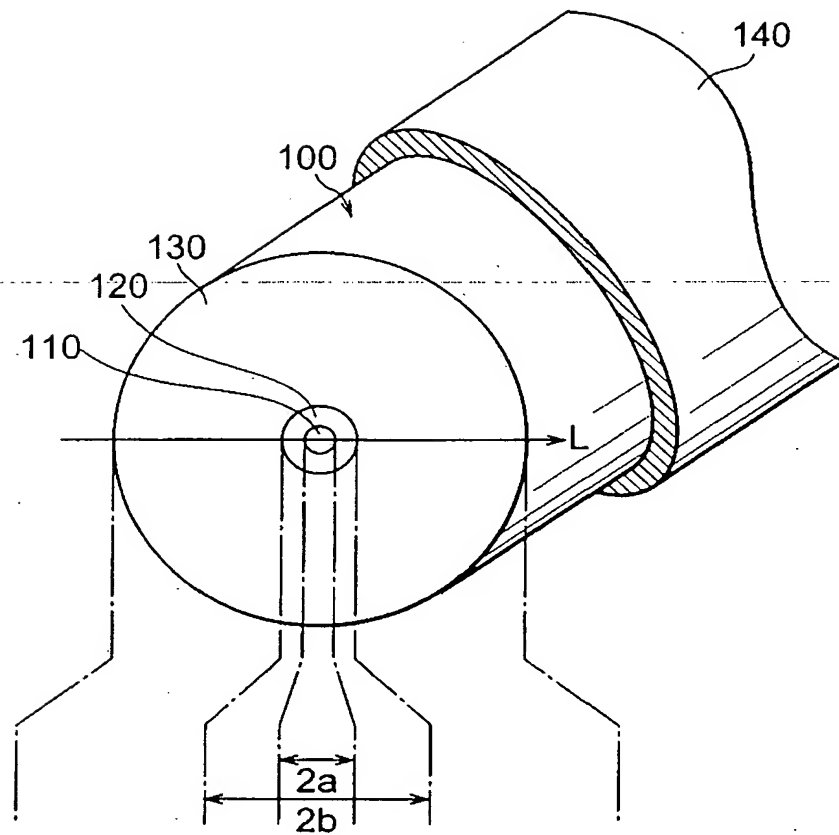
## 【 図 9 】

第2実施例に係る光ファイバにおいて、コア径（コア領域の外径） $2a$ と波長1550nmにおける分散との関係を示すグラフである。

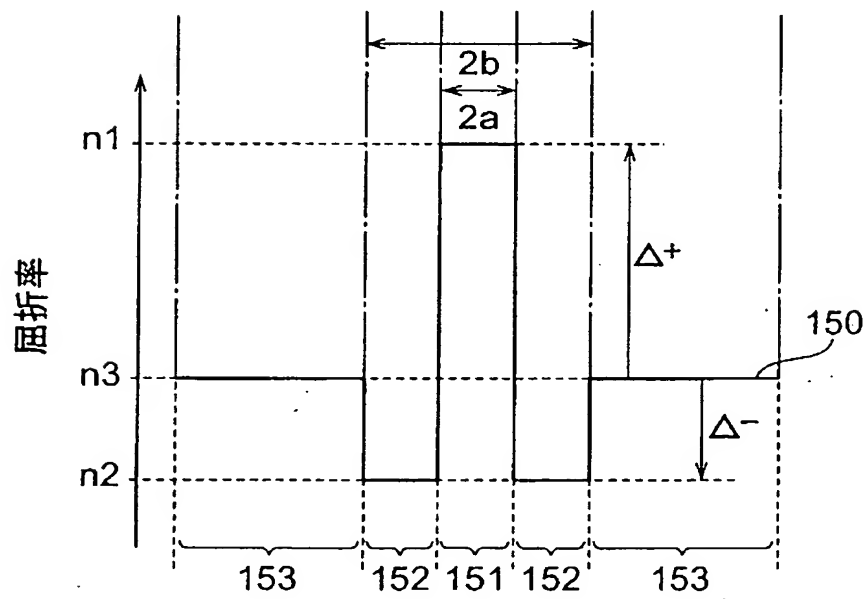


【 图 1 】

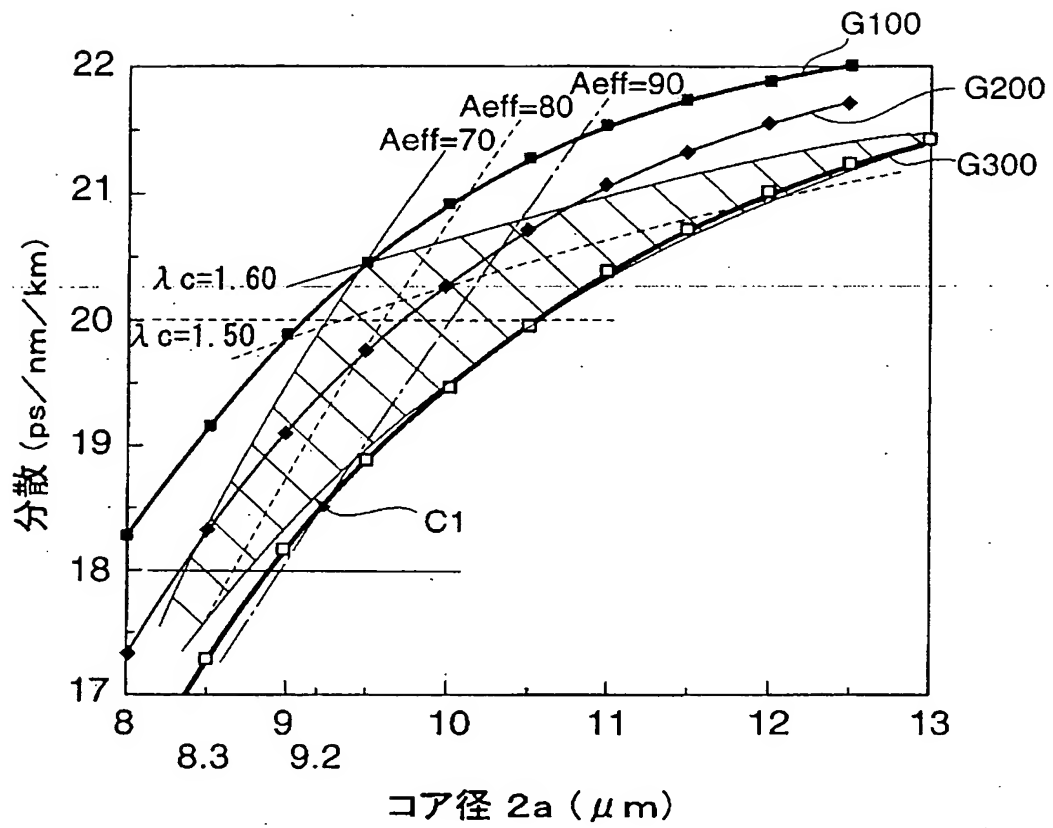
(a)



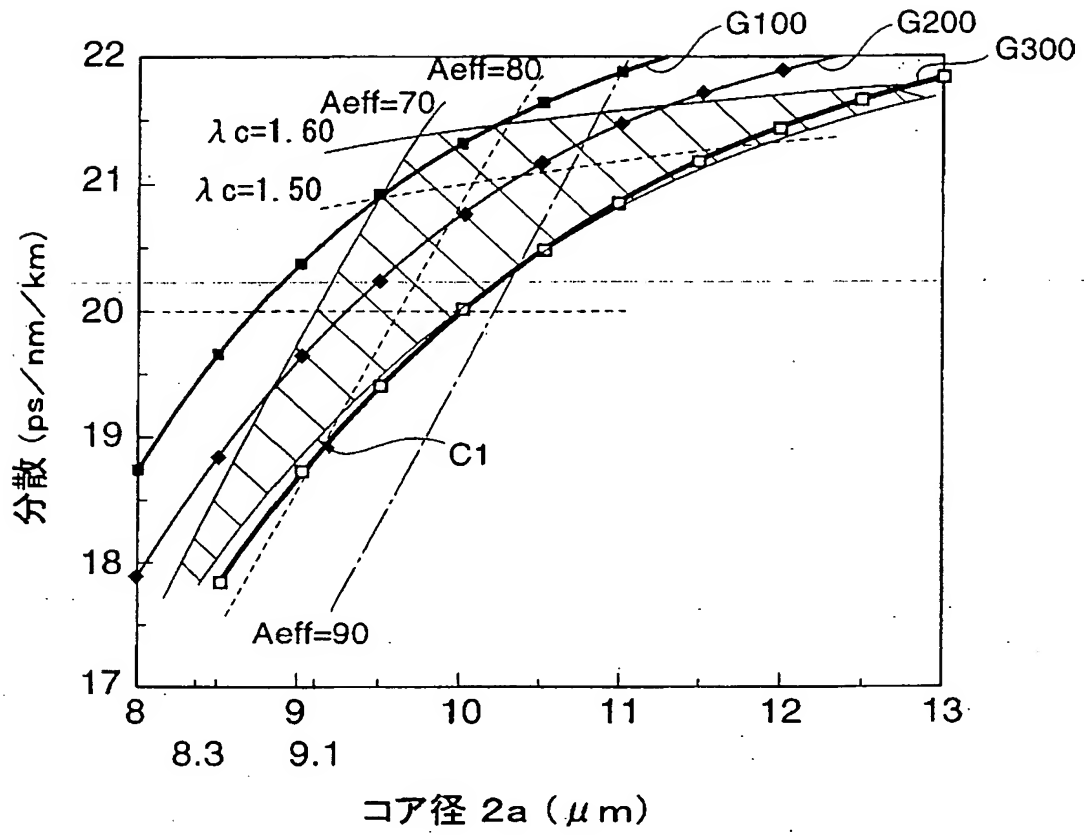
(b)



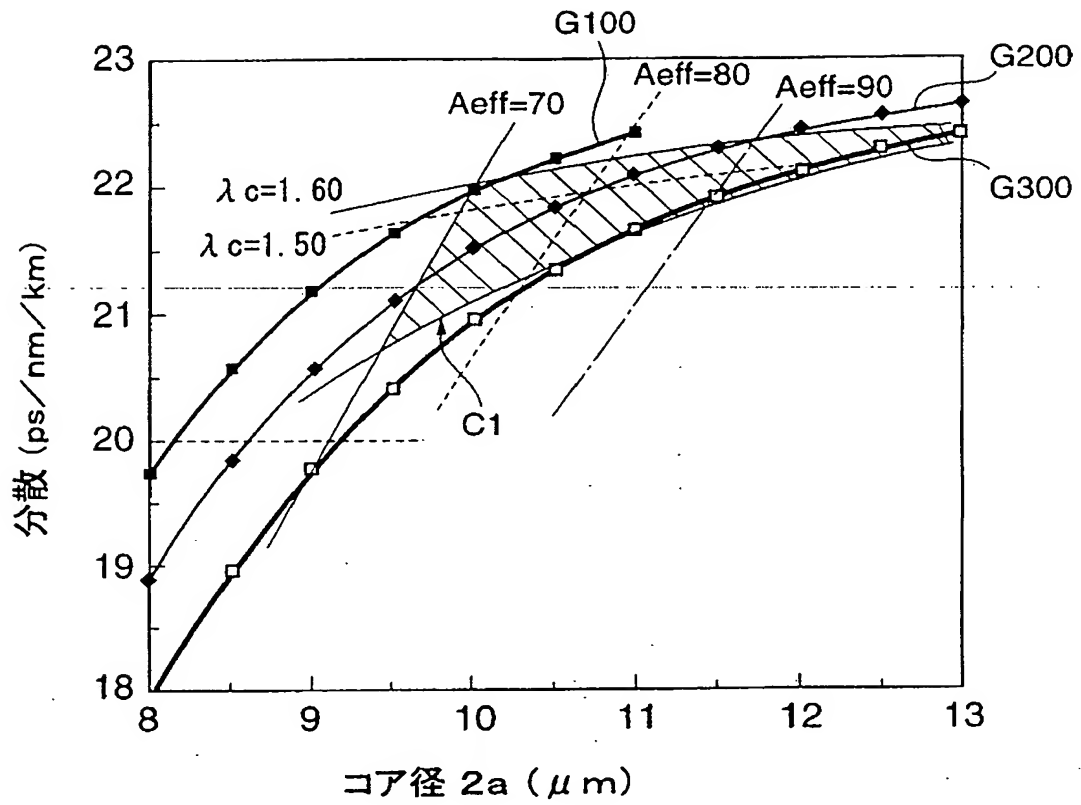
【 図 2 】



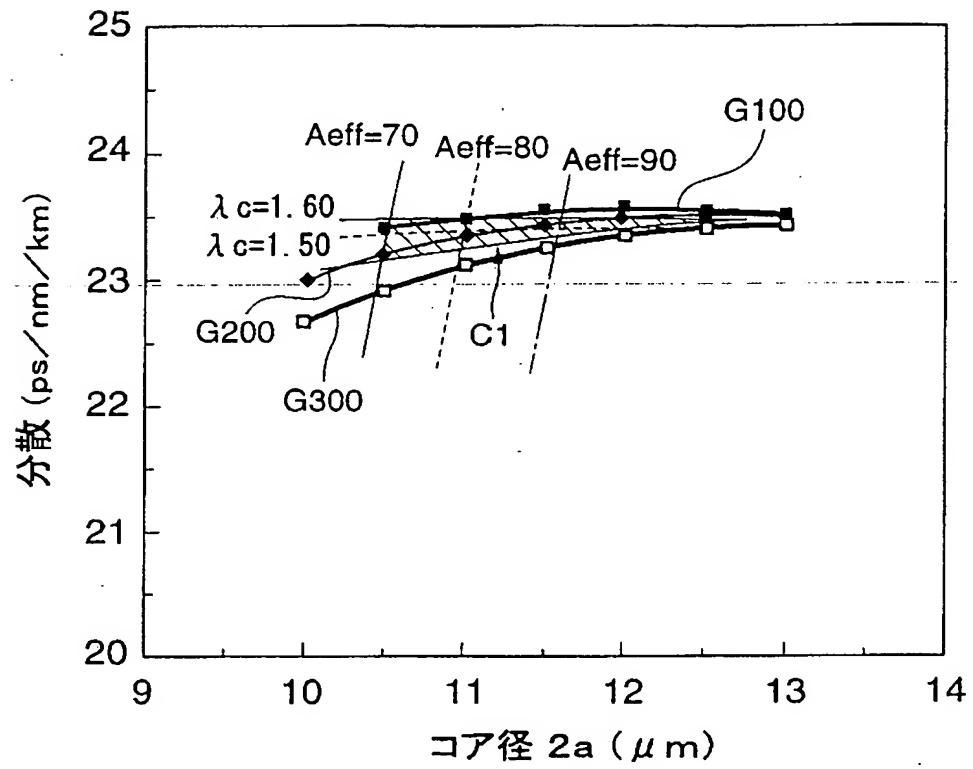
【 図 3 】



【 図 4 】

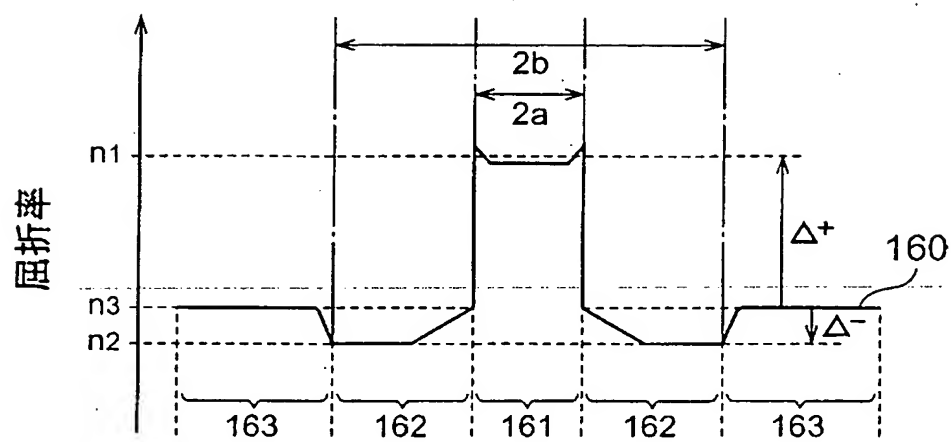


【 図 5 】

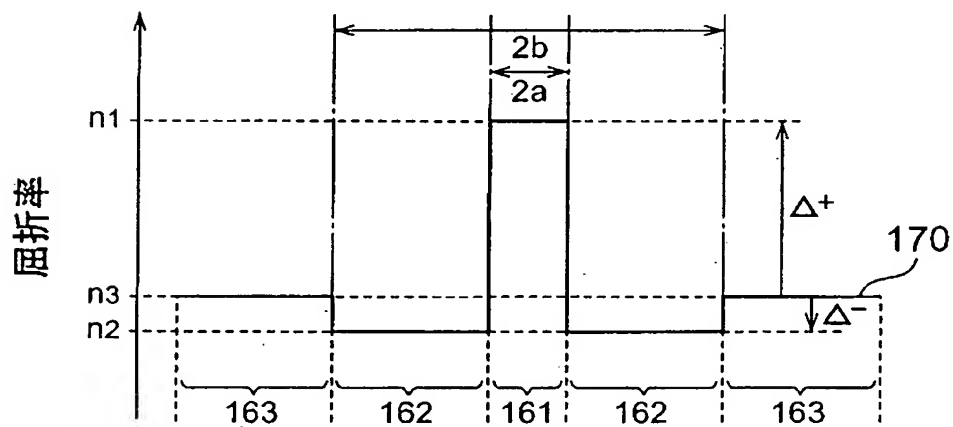


【 図 6 】

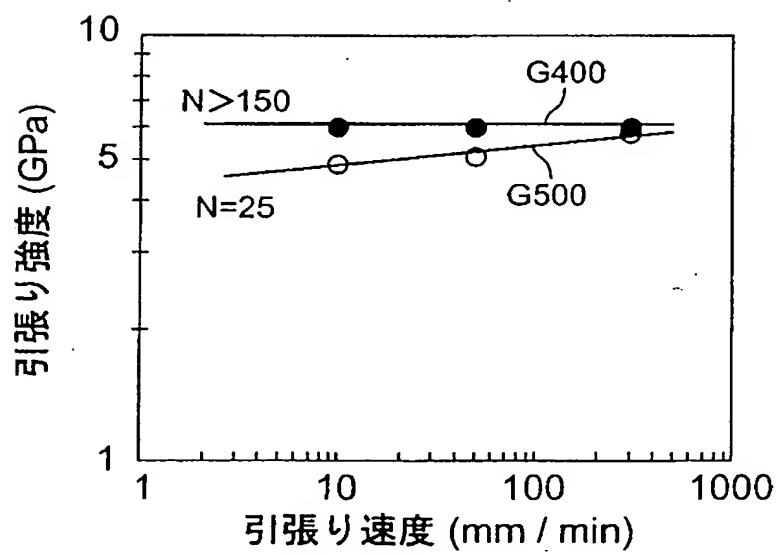
(a)



(b)

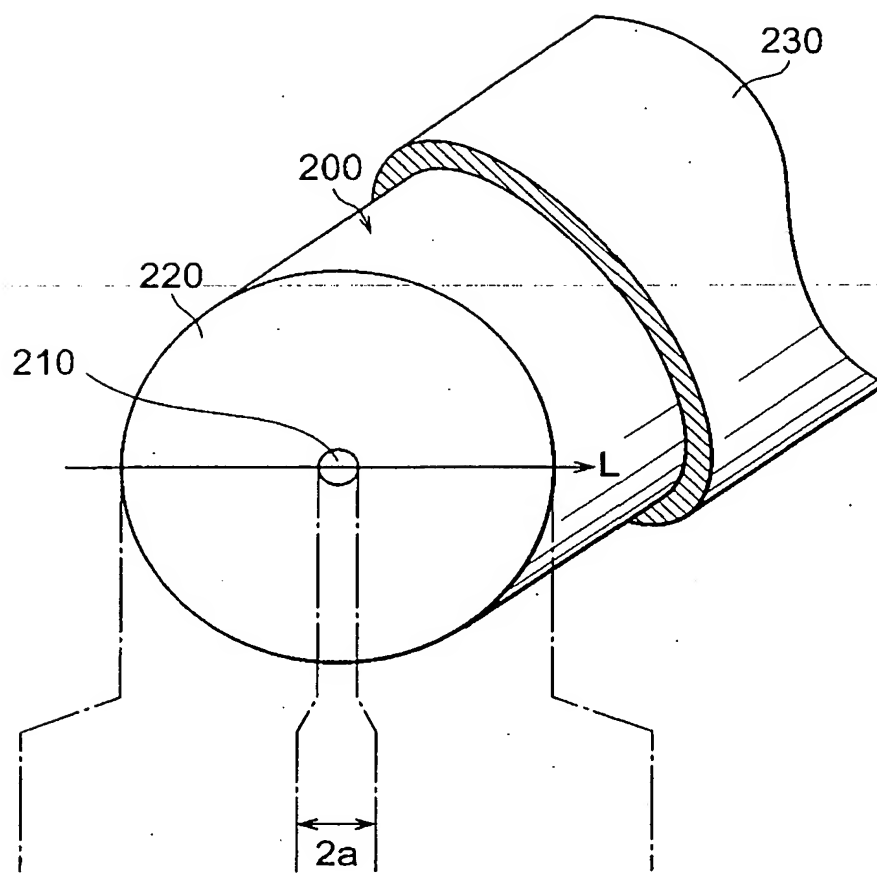


【 図 7 】

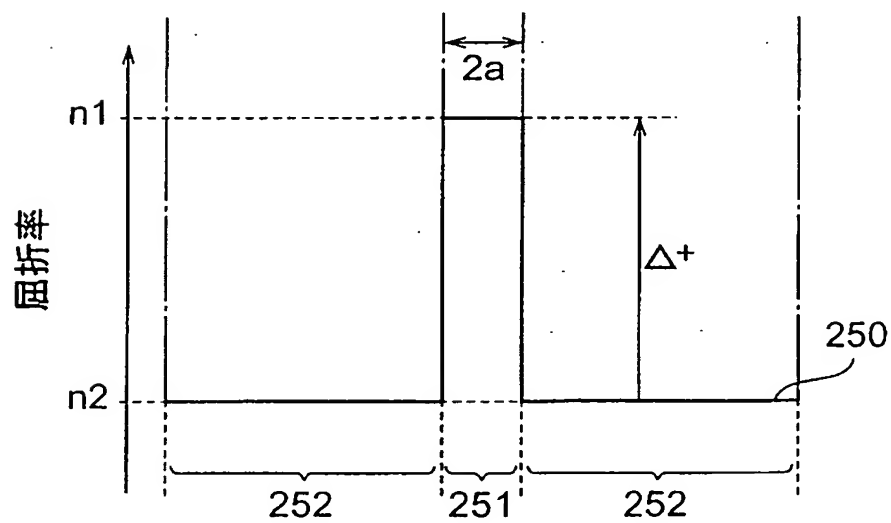


【 图 8 】

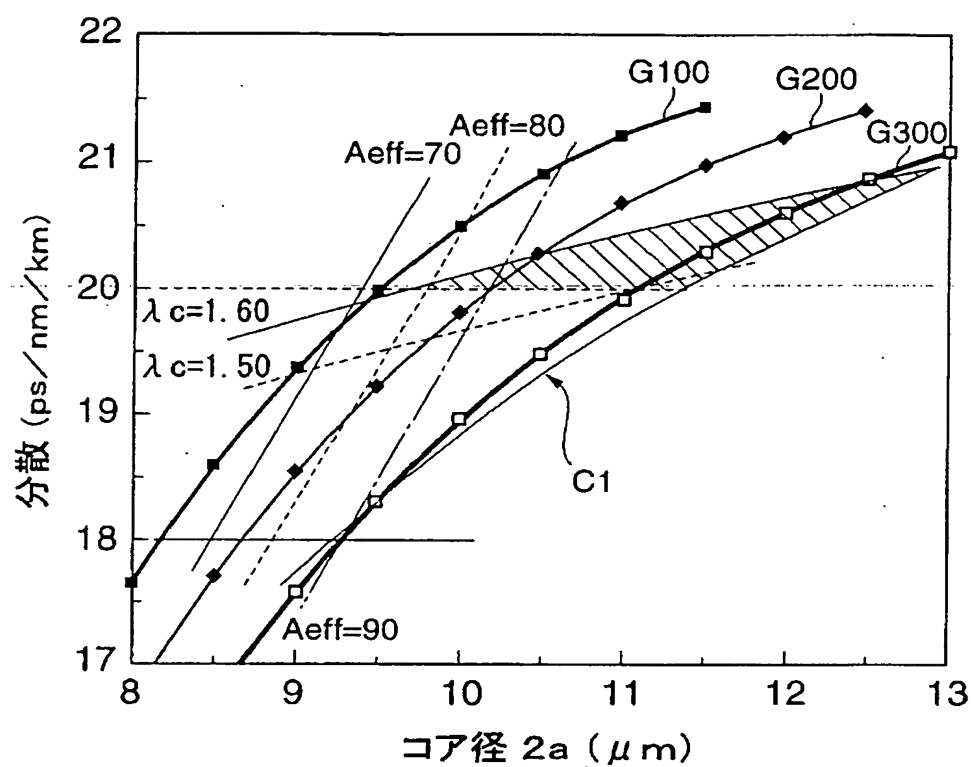
(a)



(b)



【 図 9 】





## 【手続補正書】

【提出日】平成 13 年 7 月 6 日 ( 2001. 7. 6 )

## 【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項 1.5

【補正方法】変更

## 【補正の内容】

【請求項 15】 前記クラッドの外周に設けられたカーボンコーティングをさらに備えたことを特徴とする請求項 11 記載の光ファイバ。

## 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0050】

分散 (  $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$  ) : 20.5

実効断面積  $A_{\text{eff}}$  (  $\mu\text{m}^2$  ) : 99

分散スロープ (  $\text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  ) : 0.060

直径 60 mm に曲げたときの伝送損失 (  $\text{dB} / \text{km}$  ) : 0.172

偏波モード分散 PMD (  $\text{ps} \cdot \text{km}^{-1/2}$  ) : 0.08

なお、この第 6 適用例に係る光ファイバの 2 m 長でのカットオフ波長は 1.50  $\mu\text{m}$  である。また、上記伝送損失は、光ファイバ本来の伝送損失と、直径 60 mm で曲げられたことに起因する損失増加分の合計である。

## 【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0056

【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0056】

## ( 第 2 実施例 )

次に、この発明に係る光ファイバの第2実施例について説明する。図8 ( a ) は、第2実施例に係る光ファイバの断面構造を示す図であり、図8 ( b ) は、図8 ( a ) に示された光ファイバの屈折率プロファイルである。この第2実施例に係る光ファイバ200は、所定軸に沿って伸び、屈折率 $n_1$ を有するコア領域210と、該コア領域210の外周に設けられた領域であって、屈折率 $n_2$  ( $< n_1$ ) を有する有するクラッド領域220とを備える。したがって、各領域210、220における屈折率の大小関係は、 $n_1 > n_2$ である。なお、この第2実施例に係る光ファイバ200の外周には、コイル状に巻かれることによりモジュール化された際の破断を効果的に防止するため、カーボンコーティング230が設けられている。

## 【 手続補正 4 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0060

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

## 【 0060 】

図9は、第2実施例に係る光ファイバのコア領域210の外径2aと波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散との関係を示すグラフである。なお、この図において、G100、G200、G300は、クラッド領域220に対するコア領域210の屈折率差 $\Delta'$ が0.50%、0.40%、0.30%の各場合におけるコア径2aと波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散値の関係を示すグラフである。また、C1は、直径60mmで巻かれたことに起因する全長20kmの光ファイバの損失増加分（波長1.55  $\mu\text{m}$ ）が0.01dB/kmとなるコア径2aと波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散値の関係を示すグラフである。さらに、この図9には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が1.5  $\mu\text{m}$ 、1.6  $\mu\text{m}$ となる各場合のコア径2aと波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散値の関係を示す各グラフ、実効断面積 $A_{eff}$ が70  $\mu\text{m}^2$ 、80  $\mu\text{m}^2$ 、90  $\mu\text{m}^2$ となる各場合のコア径2aと波長1.55  $\mu\text{m}$ における分散値の関係を示す各グラフが示されている。なお、カットオフ波長 $\lambda_c$ は、長さ

が数百mの光ファイバの場合には $1.60\mu\text{m}$ 程度まで許容され、さらに長い光ファイバの場合には $1.70\mu\text{m}$ 程度まで許容される場合がある。また、図9には、カットオフ波長 $\lambda_c$ が $1.6\mu\text{m}$ 以下、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $70\mu\text{m}^2$ 以上、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上、かつ直径 $60\text{mm}$ で巻かれたことに起因する全長 $20\text{km}$ の光ファイバの損失増加分（波長 $1.55\mu\text{m}$ ）が $0.01\text{dB}/\text{km}$ 以下となる範囲が好ましい範囲として示されている（図中の斜線部分）。

【手続補正5】

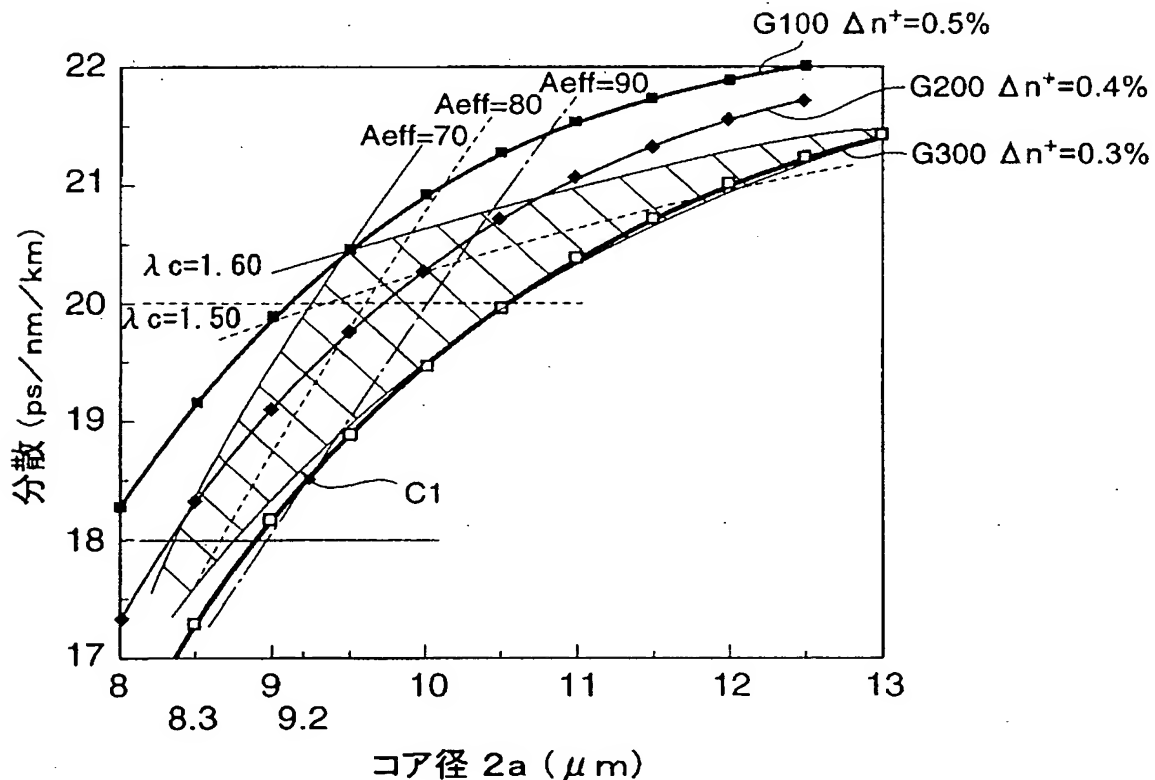
【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図2】



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No.  
PCT/JP 99/07061

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 G02B6/16		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 883 002 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 9 December 1998 (1998-12-09) abstract; figure 38 claim 1 page 2, line 55 -page 3, line 24 page 4, line 38 -page 5, line 53	1
Y		2,4,9
A		3,5-8, 11-14
X	EP 0 779 524 A (CORNING INC) 18 June 1997 (1997-06-18) abstract; figure 4 page 3, line 27 - line 58 page 5; tables 1,2	10
Y		2,4,15
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (see specification) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 March 2000		Date of mailing of the international search report 04/04/2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 6818 Patentplan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 631 630 nL Fax (+31-70) 340-3018		Authorized officer Jakober, F

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/JP 99/07061
--

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 360 464 A (YAMAUCHI RYOZO ET AL) 1 November 1994 (1994-11-01) abstract; figure 1 column 1, line 35 - line 42	9,15

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. l. Application No.

PCT/JP 99/07061

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0883002 A	09-12-1998	US 5878182 A	02-03-1999
		AU 711776 B	21-10-1999
		AU 6993898 A	10-12-1998
		BR 9801775 A	14-09-1999
		CA 2237282 A	05-12-1998
		CN 1201913 A	16-12-1998
		JP 11052161 A	26-02-1999
EP 0779524 A	18-06-1997	US 5715346 A	03-02-1998
		AU 7417996 A	19-06-1997
		BR 9605852 A	25-08-1998
		CA 2192425 A	16-06-1997
		CN 1160214 A	24-09-1997
		JP 9274118 A	21-10-1997
US 5360464 A	01-11-1994	JP 4301804 A	26-10-1992
		JP 4051102 A	19-02-1992
		EP 0462893 A	27-12-1991
		US 5223014 A	29-06-1993

## フロントページの続き

(81) 指定国 EP(AT, BE, CH, CY,  
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, I  
T, LU, MC, NL, PT, SE), AU, CA, C  
N, ID, IN, JP, KR

(72) 発明者 萩原 真二郎

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 渡辺 守生

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 小林 宏平

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

F ターム(参考) 2H050 AC36 AC71 AC73 AC75 AC76  
AD01 BB01Q